

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля
 Институт международного образования и языковой коммуникации
 Направление подготовки – 11.03.04 Электроника и наноэлектроника
 Кафедра промышленной и медицинской электроники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Резонансный преобразователь постоянного напряжения

УДК ____ 621.3.015 ____

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
151A20	Ван Бо		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ПМЭ ИНК	Буркин Е.Ю.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. менеджмент	Конотопский В.Ю.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. экологии и БЖД	Кырмакова О.С.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПМЭ	Ф.А. Губарев	к.ф.-м.н., доцент		

Томск – 2016 г.

Результаты обучения по ООП «Электроника и нанoeлектроника»

Код результата	Результат обучения
P1	Применять базовые и специальные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в комплексной инженерной деятельности при разработке, производстве, исследовании, эксплуатации, обслуживании и ремонте высокоэффективной техники
P2	Ставить и решать задачи комплексного инженерного анализа и синтеза с использованием базовых и специальных знаний, современных аналитических методов и моделей
P3	Выбирать и использовать на основе базовых и специальных знаний необходимое оборудование, инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и иных ограничений
P4	Выполнять комплексные инженерные проекты по разработке высокоэффективной электронной техники с применением базовых и специальных знаний, современных методов проектирования для достижения оптимальных результатов, соответствующих техническому заданию с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений
P5	Проводить комплексные инженерные исследования, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных с применением базовых и специальных знаний и современных методов для достижения требуемых результатов
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование в предметной сфере биотехнических систем и технологий, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды
P7	Использовать базовые и специальные знания в области проектного менеджмента для ведения комплексной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P8	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе, в том числе на иностранном языке, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, проявлять навыки руководства группой исполнителей, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, с делением ответственности и полномочий при решении комплексных инженерных задач
P10	Демонстрировать личную ответственность, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения комплексной инженерной деятельности
P11	Демонстрировать знание правовых социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, компетентность в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности
P12	Проявлять способность к самообучению и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля
Институт международного образования и языковой коммуникации
Направление подготовки : 11.03.04 Электроника и наноэлектроника
Кафедра промышленной и медицинской электроники

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Ф.А. Губарев
(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
151A20	Ван Бо

Тема работы:

Резонансный преобразователь постоянного напряжения	
Утверждена приказом директора ИНК (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Входные параметры:

Входное напряжение источника питания
постоянного напряжения – 300В

Выходные параметры:

Выходное напряжение – 48В (постоянное
напряжение)

Коэффициент пульсация – 0,02

Выходный ток – 4А;

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Обзор литературы</p> <p>Выбор и обоснование функциональной схемы устройства</p> <p>Анализ и расчет принципиальной схемы резонансного преобразователя постоянного напряжения.</p> <p>Социальная ответственность</p> <p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p> <p>Заключение</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Кырмакова О.С.</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Конотопский В.Ю.</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	
--	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ПМЭ ИНК	Буркин Е.Ю.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
151A20	Ван Бо		

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
 высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Институт неразрушающего контроля
 Институт международного образования и языковой коммуникации
 Направление подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника
 Уровень образования бакалавриат
 Кафедра промышленной и медицинской электроники
 Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2013/2014 учебного года)

Форма представления работы:

бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.10.2015	Обзор литературы	...
15.11.2015	Теоретический расчет силовой части преобразователя	...
15.02.2016	Расчет индуктивностей и трансформатора	
15.03.2016	Создание макета преобразователя	
13.04.2016	Экспериментальное исследование преобразователя	
01.05.2016	Анализ экспериментального результатов	
15.05.2016	Оформление ВКР	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ПМЭ ИНК	Буркин Е.Ю.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПМЭ	Ф.А. Губарев	к.ф.-м.н., доцент		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа _____ 65 _____ с., _____ 28 _____ рис., _____ 14 _____ табл.,
_____ источников, _____ 3 _____ прил.

Ключевые слова: резонанс, преобразователь постоянного напряжения, преобразователь высокой частот, резонансный контур, инвертор, выпрямитель.

Объектом исследования является (ются) резонансный преобразователь постоянного напряжения .

Цель работы – теоретическое и экспериментальное исследования резонансного преобразователя постоянного напряжения и проектирования макета по технической задаче.

В процессе исследования проводились обзор литературы, выбор и обоснование унциальной схемы силовой части преобразователя, расчет для силовой части и генератора преобразователя, экспериментальное исследование преобразователя.

В результате исследования получены выражения для расчета силовой части преобразователя, фазированные диаграммы напряжений и токов на основных элементах, частотная характеристика выходного напряжения и зависимость выходного напряжения от входного напряжения.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: Входное напряжение источника питания постоянного напряжения – (300 ± 15) В. Выходные параметры: выходное напряжение – 48В (постоянное напряжение) коэффициент пульсация – 0,02, Выходный ток – 4А.

Степень внедрения: _____ высокая.

Область применения: _____ источник питания постоянного напряжения высоких частот.

Экономическая эффективность/значимость работы _____ работа _____ является конкурентоспособной и экономически выгодной, что подтверждено расчетами.

В будущем планируется _____ создать стабильный источник питание на основе резонансного преобразователя постоянного напряжения.

Введение

Резонансный преобразователь постоянного напряжения имеет широкое применение в области электроники. Резонансный преобразователь постоянного напряжения получает энергию от постоянного напряжения, преобразуя её в энергию переменного или постоянного напряжения[1]. Выходное напряжение на данной работе является постоянным. Отличие резонансного преобразователя постоянного напряжения от других типов преобразователей состоит в том, что частота работы преобразователя управляет выходным напряжением и ток в ключах инвертора стремится к нулю при переключении ключей. Эта особенность позволяет нам снизить потерь энергии в ключах и увеличить КПД преобразователя.

Актуальность данной работы состоит в том, чтобы снизить потерь энергии в ключевых элементах и реализуется гальваническую развязку входной части и выходной части.

Целью данной работы являются теоретическое и экспериментальное исследования резонансного преобразователя постоянного напряжения и проектирования макета по технической задаче.

1. Обзор литературы

1.1 Основные характеристики резонансного преобразователя постоянного напряжения

1.1.1 Резонансный преобразователь постоянного напряжения.

Преобразователь, который преобразует энергию постоянного напряжения или переменного напряжения в энергию постоянного напряжения или переменного напряжения с помощью резонансного контура, называется резонансным. Силовая часть резонансного преобразователя постоянного напряжения состоит из инвертора, резонансного конденсатора, трансформатора, выпрямителя, сглаживающего фильтра и нагрузки. Трансформатор, выпрямитель, даже сглаживающий фильтр могут отсутствовать, когда преобразователь преобразует энергию постоянного напряжения в энергию переменного напряжения.

1.1.2 Динамические потери в полупроводниковых ключах

Потери мощности в ключах являются одним из важных показателей эффективности преобразовательных систем, который влияет на коэффициент полезного действия системы, габариты и стоимость систем охлаждения ключей, надежность их работы, определяемую температурой полупроводниковых кристаллов (переходов).

Потери мощности состоят из статических и динамических. Статические потери мощности вызваны током, который протекает через ключи в открытом режиме. А динамические потери возникают при переключении.

Динамические потери зависят от частоты преобразования, значения напряжения и тока на ключах при включении и выключении, инерционных свойств транзистора, вида схемы преобразователя и характера нагрузки.

Например, динамические потери в транзисторах преобразователя с учетом отмеченных особенностей определяется по формуле:

$$P_{\text{т.дин}} = I_{\text{к}} U_{\text{кз}} \tau_{\text{т}} f K_{\text{дин}}, \quad (1.1)$$

Где I_k и $U_{кэ}$ – ток и наярание на транзисторх.

τ_T – длительность переключения транзисторы

f – частота работы транзистора.

$K_{дин}$ –коэффициент динамических потерь, зависящий от вида схемы преобразователя и режимов работы транзисторов. [1]

По составляющим элементам определяем способы снижения динамических потерь:

1. Снижать частоту работы ключевых элементов, чтобы транзистор работает в низки частота.
2. уменьшать значение тока и наярание на ключевых элементах при включении и выключении транзистора.
3. снижать динамические потери путем разработки различных схем преобразователей.

1.1.3 Особенность резонансного преобразователя постоянного наярения

В отличие от других типов преобразователей резонансный преобразователь обладает следующими особенностями:

1. резонансный преобразователь работает в высоких частотах.
2. в входном каскаде (инвертор) резонансного преобразователя динамические потери мощности почти отсутствуют, так как использование резонансной схемы, состоящей из конденсатора и индуктивности, делает наярание и ток через ключи равными нулю перед переключением ключей. Это устраняет большинство потери переключения. Поэтому резонансный преобразователь постоянного наярения может работать в высокой частоте с низкими потерями в ключевых элементах и высоким КПД.
3. работа при более высоких частотах значительно уменьшает размер пассивных компонентов, таких как трансформаторы и дроссели. Таким образом габариты блока преобразователя уменьшается и стоимость преобразователя снижается.

1.2 вид резонансного преобразователя постоянного напряжения

По методам подключения нагрузки на выходе и тип резонансного контура разделяются разные схемы резонансных преобразователей:

1. DC–DC преобразователи с последовательным подключением нагрузки к резонансному контуру

В данном преобразователе конденсатор, индуктивность и первичная обмотка трансформатора соединяются последовательно. Выпрямитель подключается во вторичной обмотке трансформатора. На выходе выпрямителя подключаются сглаживающий фильтр и нагрузки. Схема данного преобразователя показана в рис. 1.1.

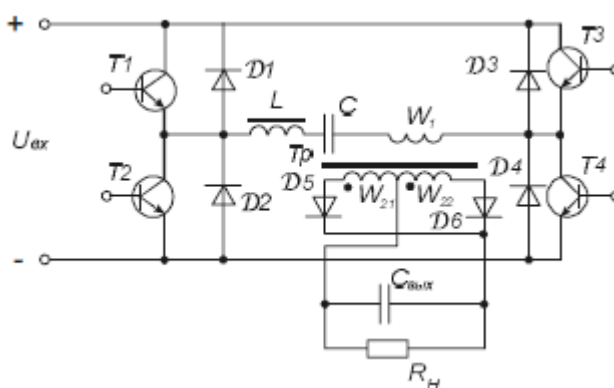


Рис. 1.1 DC–DC преобразователи с последовательным подключением нагрузки к резонансному контуру

2. . DC–DC преобразователи с подключением нагрузки к конденсатору резонансного контура

В данном преобразователе резонансные конденсатор и индуктивность последовательно соединяются на выходе инвертора. Первичная обмотка параллельно соединяется с резонансным конденсатору. Как в предыдущем преобразователе в данном преобразователе на вторично обмотки так же подключаются выпрямитель, сглаживающий фильтр и нагрузка. Схема данного преобразователя показана в рис. 1.2.

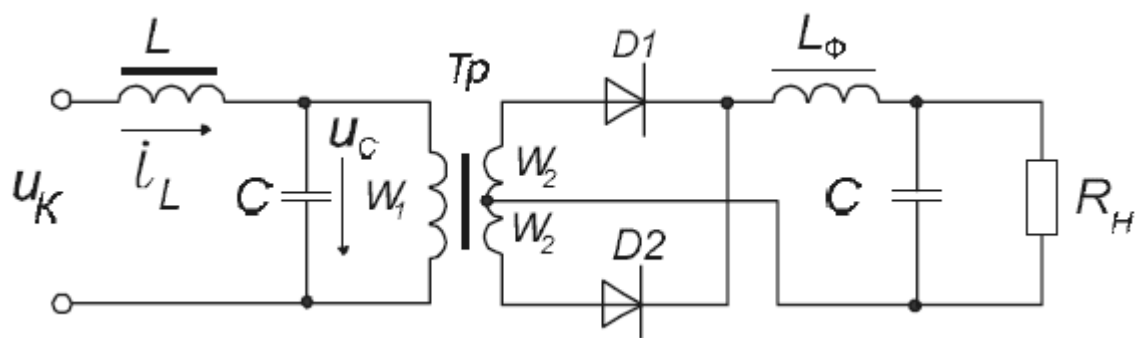


Рис.1. 2 DC–DC преобразователи с подключением нагрузки к конденсатору резонансного контура

2. Структурная схема резонансного напряжения постоянного напряжения

Резонансный преобразователь постоянного напряжения состоит из следующих блоков (рис.2.1):

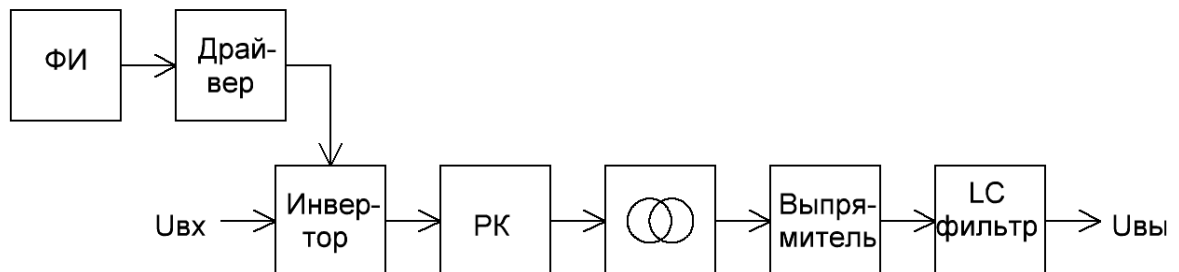


Рис. 2.1 Структурная схема резонансного напряжения
постоянного напряжения

- 1) ФИ – формирователь импульса. Он формирует управляющий сигнал;
- 2) драйвер служит для изоляции управляющей части и силовой части. так делаем, чтобы силовая часть не влияет на формирователя импульса;
- 3) инвертор инвертирует постоянное напряжение на переменное;
- 4) РК – резонансный контур. Он отбирает первую гармонику из переменного напряжения;
- 5) гальваническая связь реализуется трансформатором;
- 6) выпрямитель состоит из моста диода. он выпрямляет переменное напряжение в положительное переменное напряжение;
- 7) LC фильтр служит для сглаживания выпрямляемого напряжения.

3. Принципиальная схема резонансного преобразователя напряжения

Принципиальная схема силовой части показана на рисунке ниже:

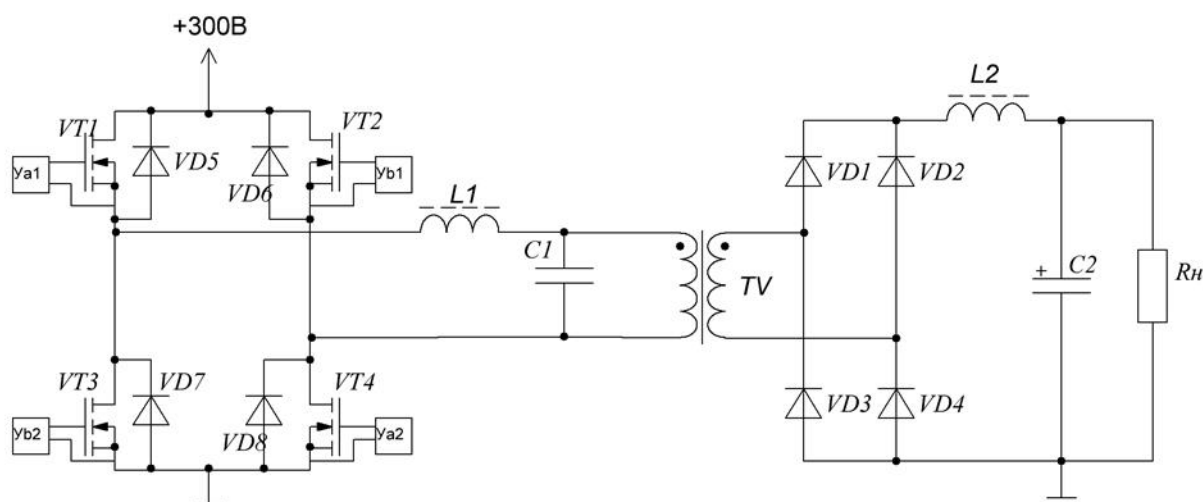


Рис 3.1 Принципиальная схема силовой части

Силовая часть резонансного преобразователя постоянного напряжения состоит из инвертора, резонансных конденсатора и индуктивности, трансформатора, выпрямителя, сглаживающего фильтра и активной нагрузки.

Инвертор представляет собой мостовую схему. Управляющий импульс формируется на основе микросхемы K1156EY2. Четыре MOSFET с обратным диодом образуют мостовой инвертор. Поскольку транзисторы MOSFET достаточно мощные и максимальное напряжение на транзисторах слишком высокое, используется драйвер для изоляции силовой части и системы управления и обеспечения качества работы транзисторов. Выпрямитель представляет собой тоже мостовую схему. Четыре диода образуют мостовой выпрямителя.

4. Анализ и расчет принципиальной схемы резонансного преобразователя постоянного напряжения.

4.1 Анализ работы резонансного преобразователя постоянного напряжения

Анализ работы преобразователя проведем при следующих допущениях:

- 1) элементы схемы, показано на Рис. 3.1 а также силовые ключи и замыкающие диоды не имеют потерь и паразитных параметров (**примечания:** На схемы не показаны драйвер и формирователь импульсного сигнала. Силовая часть состоит из мостового инвертора, резонансного контура, силового трансформатора, у которого коэффициент трансформации равен 1 и мостового выпрямителя с сглаживающим фильтром и резистором нагрузки.);
- 2) ток намагничивания транзистора равен нулю;
- 3) ток индуктивности L_{ϕ} сглаживающего фильтра имеет пренебрежимо малые пульсации.[2]

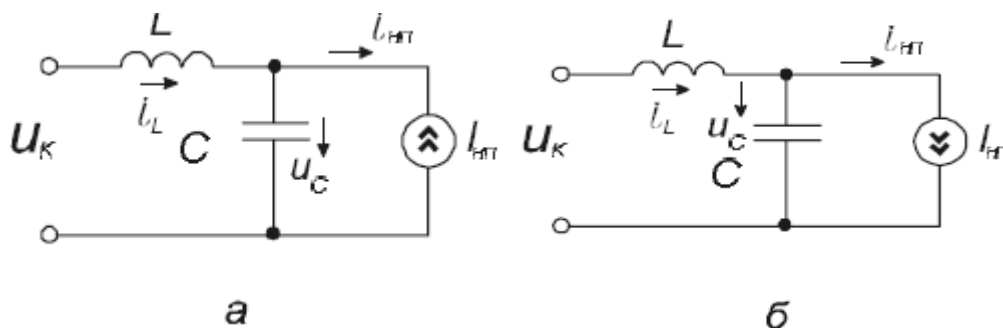


Рис. 4.1. Схема замещения для первого и второго интервалов в полупериоде

Временные диаграммы напряжений на входе контура, на конденсаторе, также тока в дросселе показаны на Рис. 4.1. Так же показан приведенный к первичной обмотке ток нагрузки $i_{нп}$. по оси абсцисс на Рис. 2 отложен угол $\omega_0 t$, где ω_0 - резонансная частота контура. переход тока $i_{нп}$ через нуль обусловлен переключением диодов $D_1 D_4$ и $D_2 D_3$ и совпадает с моментом изменения знака напряжения u_C на конденсаторе. Приведя ток нагрузки к первичной обмотке трансформатора и обозначив его $I_{нп}$, получили две схемы замещения для

первого и второго интервалов в полупериоде, которые показаны на Рис. 4 после составления системы дифференциальных уравнений и их решения, определяются начальные условия с учетом симметричности работы в обоих полупериодах.

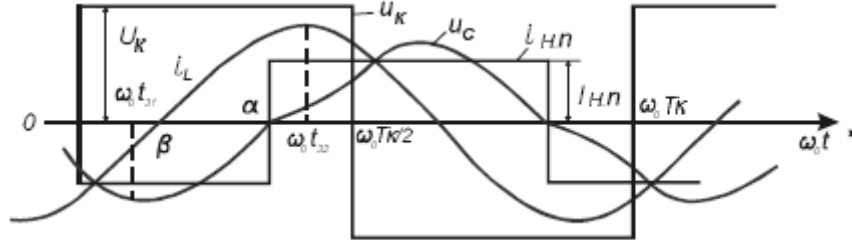


Рис. 4.2 Диаграммы процессов в двухинтервальном режиме работы

Дифференциальные уравнения:

- 1) в интервале $0 \leq \omega_0 t \leq \alpha$:

$$\frac{di_{L1}}{dt} = \frac{1}{L}(U_k - u_{C1}), \quad (4.1),$$

$$\frac{du_{C1}}{dt} = \frac{1}{C}(i_{\text{нп}} - i_{L1}), \quad (4.2)$$

- 2) в интервале $0 \leq \omega_0 t' \leq \frac{\omega_0 T_k}{2} - \alpha$:

$$\frac{di_{L2}}{dt} = \frac{1}{L}(-U_k - u_{C2}), \quad (4.3)$$

$$\frac{du_{C2}}{dt} = \frac{1}{C}(-i_{\text{нп}} - i_{L2}), \quad (4.4)$$

В результате мгновенное напряжение на конденсаторе и ток в дросселе в первом и втором интервалах в относительном виде записываются следующим образом:

$$\begin{aligned} \frac{u_{C1}(\omega_0 t)}{U_{\text{нп}}} = & \frac{1}{U_{\text{нп}}} + \frac{1}{\cos \frac{\pi}{2\mu}} \left\{ \left[q \cos \left(\frac{\pi}{2\mu} - \alpha \right) - \frac{\sin \frac{\pi}{2\mu}}{U_{\text{нп}}} \right] \sin \omega_0 t \right. \\ & \left. + \left[q \sin \left(\frac{\pi}{2\mu} - \alpha \right) - \frac{\cos \frac{\pi}{2\mu}}{U_{\text{нп}}} \right] \cos \omega_0 t \right\}, \quad (4.5) \end{aligned}$$

$$\frac{i_{L1}(\omega_0 t)}{I_{н.п}} = \frac{1}{I_{нп}} + \frac{1}{\cos \frac{\pi}{2\mu}} \left\{ \left[\frac{\cos \frac{\pi}{2\mu}}{U_{нп} q} - \sin \left(\frac{\pi}{2\mu} - \alpha \right) \right] \sin \omega_0 t + \left[-\frac{\sin \frac{\pi}{2\mu}}{U_{нп} q} + \cos \left(\frac{\pi}{2\mu} - \alpha \right) \right] \cos \omega_0 t \right\}, (4.6)$$

$$\frac{u_{C2}(\omega_0 t')}{U_{н.п}} = \frac{1}{U_{нп}} + \frac{1}{\cos \frac{\pi}{2\mu}} \left\{ \left[-q \cos \frac{\pi}{2\mu} - \frac{\sin \left(\frac{\pi}{2\mu} - \alpha \right)}{U_{нп}} \right] \sin \omega_0 t' + \left[q \sin \frac{\pi}{2\mu} - \frac{\cos \left(\frac{\pi}{2\mu} - \alpha \right)}{U_{нп}} \right] \cos \omega_0 t' \right\}, (4.7)$$

$$\frac{i_{L2}(\omega_0 t')}{I_{н.п}} = \frac{1}{I_{нп}} + \frac{1}{\cos \frac{\pi}{2\mu}} \left\{ \left[\frac{\cos \left(\frac{\pi}{2\mu} - \alpha \right)}{U_{нп} q} - \sin \frac{\pi}{2\mu} \right] \sin \omega_0 t' + \left[-\frac{\sin \left(\frac{\pi}{2\mu} - \alpha \right)}{U_{нп} q} + \cos \frac{\pi}{2\mu} \right] \cos \omega_0 t' \right\}, (4.8)$$

В соотношениях (5)-(8) приняты следующие обозначения: $u_{C1}, i_{L1}, u_{C2}, i_{L2}$ – напряжение и ток в первом (индекс 1) и во втором (индекс 2) интервалах; $U_{н.п} = U_{\text{вых}}/n$ – приведенное к первичной обмотке трансформатора выходное напряжение (n – коэффициент трансформации.); $I_{н.п} = n I_{\text{н}}$ – приведенный к первичной обмотке трансформатора ток нагрузки; $U_{нп} = U_{н.п} / U_k$ – нормированное приведенное выходное напряжение; $\mu = f / f_0$ – относительная частота; $q = \sqrt{L/C}/R_{нп}$ – параметр, характеризующий нагрузку преобразователя ($R_{нп} = R_{\text{н}}/n^2$ – приведенное к первичной обмотке трансформатора сопротивление нагрузки). [2]

В (4.5) - (4.8) параметры μ и q считаются известными, а $U_{нп}$ и α определяются из системы уравнений:

$$\begin{cases} \cos \left(\frac{\pi}{2\mu} - \alpha \right) - \cos \frac{\pi}{2\mu} = U_{нп} q \sin \frac{\pi}{2\mu} \\ 1 - 2\alpha \frac{\mu}{\pi} + 2 \frac{\mu}{\pi} \frac{\sin \left(\frac{\pi}{2\mu} - \alpha \right)}{\cos \frac{\pi}{2\mu}} = U_{нп} \end{cases} \quad (9)$$

Первое уравнение в (4.9) получено из условия равенства нулю напряжения u_C в момент α , а второе – интегрированием (4.5) и (4.7) в целях определения нормированного и приведенного к первичной выходного напряжения. Исключая из $U_{\text{нп}}$, получим уравнение относительно угла α :

$$\cos\left(\frac{\pi}{2\mu} - \alpha\right) - \cos\frac{\pi}{2\mu} - q\sin\left(1 - 2\alpha\frac{\mu}{\pi}\right) - 2\alpha\frac{\mu}{\pi}q\operatorname{tg}\left(\alpha - \frac{\pi}{2\mu}\right) = 0, (10)$$

Значение $U_{\text{нп}}$ находится после подстановки α в любое из уравнений (9).[2]

Резонанс в двухинтервальном режиме

Выражение для мгновенных значений напряжения u_C и тока i_L при резонансе можно получить, предварительно определив предел уравнений системы (4.9) при $\mu \rightarrow 1$.

Из второго уравнения этой системы имеет при $\mu \rightarrow 1$:

$$\alpha = \frac{\pi}{2}.$$

Первое уравнение системы приводится к виду:

$$\sin\alpha = U_{\text{нп}}q.$$

Откуда получим

$$U_{\text{нп}}q = 1, (4.11)$$

Из второго уравнения этой системы (9) следует:

$$\lim_{\mu \rightarrow 1} \frac{\sin\left(\alpha - \frac{\pi}{2\mu}\right)}{\cos\frac{\pi}{2\mu}} = U_{\text{нп}} \frac{\pi}{2}$$

Используя предельные переходы в соотношениях (5) – (8), получаем:

$$\frac{u_{C1}(\omega_0 t)}{U_{\text{нп}}} = q \left[1 - \sin\omega_0 t - \left[\frac{\pi}{2q} + 1 \right] \cos\omega_0 t \right], (4.12)$$

$$\frac{i_{L1}(\omega_0 t)}{I_{\text{нп}}} = -1 + \left[\frac{\pi}{2q} + 1 \right] \sin\omega_0 t - \cos\omega_0 t, (4.13)$$

$$\frac{u_{C2}(\omega_0 t')}{U_{\text{нп}}} = q \left[1 + \left[\frac{\pi}{2q} - 1 \right] \sin\omega_0 t' - \cos\omega_0 t' \right], (4.14)$$

$$\frac{i_{L2}(\omega_0 t')}{I_{\text{нп}}} = 1 + \sin\omega_0 t' + \left[\frac{\pi}{2q} - 1 \right] \cos\omega_0 t', (4.15)$$

Границу между двух- и трехинтервальным режимами можно определить, дифференцируя (14) и приравнявая полученное выражение к нулю при $\omega_0 t' = 0$.

В результате получим уравнение:

$$q_{\Gamma} \left[\frac{\pi}{2q_{\Gamma}} - 1 \right] = 0$$

Откуда $q_{\Gamma} = \frac{\pi}{2}$.

Таким образом, при резонансе и $q < \frac{\pi}{2}$ имеет место двухинтервальный режим.[2]

Приведем полученные в результате преобразований параметры работы элементов для двухинтервального режима и резонанса.

$$U_{C \max \Pi} = q \left(\sqrt{\left[\frac{\pi}{2q} + 1 \right]^2 + 1} - 1 \right);$$

$$I_{L \max \Pi} = 1 + \sqrt{\left[\frac{\pi}{2q} - 1 \right]^2 + 1};$$

$$I_{L \Pi} = \sqrt{2 - \frac{2}{\pi} + \frac{1}{8} \left(\frac{\pi}{q} \right)^2};$$

$$U_{L \Pi} = \frac{2}{\pi} q \sqrt{\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{4} \left[\frac{\pi}{2q} + 1 \right]^2 + 1};$$

$$U_{C \Pi} = \sqrt{q^2 \left(2 - \frac{6}{\pi} \right) + \frac{\pi^2}{8}};$$

$$I_{C \Pi} = \sqrt{\frac{1}{8} \left[\frac{\pi}{q} \right]^2 - \frac{2}{\pi} + 1}$$

Граничный режим при $\mu \neq 1$

Граничный угол α_{Γ} , соответствующий переходу от двухинтервального режима к трехинтервальному, можно определить из (4.7), приравняв к нулю производную напряжения $u_{C2}(\omega_0 t')$ при $\omega_0 t' = 0$. В результате получим соотношение:

$$q U_{\Pi} = - \frac{\sin \left(\frac{\pi}{2\mu} - \alpha \right)}{\cos \frac{\pi}{2\mu}}$$

Решая полученное уравнение совместно с первым уравнением системы (4.9), определяем угол α_{Γ} :

$$\alpha_{\Gamma} = \arccos\left(\cos^2 \frac{\pi}{2\mu}\right), (4.16)$$

Из (10) выразим значение q при $\alpha = \alpha_{\Gamma}$:

$$q_{\Gamma} = \frac{\cos\left(\alpha_{\Gamma} - \frac{\pi}{2\mu}\right) - \cos\left(\frac{\pi}{2\mu}\right)}{\left(1 - \alpha_{\Gamma} \frac{2\mu}{\pi}\right) \sin\left(\frac{\pi}{2\mu}\right) + \tan\left(\frac{\pi}{2\mu}\right) \sin\left(\alpha_{\Gamma} - \frac{\pi}{2\mu}\right)}, (4.17)$$

Для известных значений μ из (4.17) с учетом (4.16) определяется q_{Γ} . при $q < q_{\Gamma}$ имеет место двухинтервальный режим.[2]

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕДИНЕНИЕ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
150A20	Ван Бо

Институт	ИНК/ИМОЯК	Кафедра	ПМЭ
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	Электроника и наноэлектроника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	...
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	...

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	...
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	...
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	...

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Альтернативы проведения НИ
3. График проведения и бюджет НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Конотопский Владимир Юрьевич	к.э.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150A20	Ван Бо		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
151A20	Ван Бо

Институт	ИМОЯК	Кафедра	ПМЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроника и наноэлектроника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является резонансного преобразователя постоянного напряжения (РППН). РППН служит источником питания постоянного напряжения. На входе подключается напряжение 300В и на выходе источника 48В. Данный резонансный преобразователь постоянного напряжения применяется в бытовой технике, или в электронных устройствах, в которых требуется большая мощность и высокий коэффициент полезного действия.
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения). 	<p><i>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны; – повышенная или пониженная влажность воздуха; – повышенная или пониженная подвижность воздуха; – отсутствие или недостаток естественного света; – повышенный уровень шума на рабочем месте. <p><i>Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность – пожаровзрывобезопасность
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); 	<p><i>Воздействие на окружающую среду сводится к минимуму, за счет отсутствия загрязняющих веществ, за исключением бытовых отходов, которые систематически убираются.</i></p>

<ul style="list-style-type: none"> – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p><i>Возможные ЧС на объекте:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – наводнение <p><i>Меры по предупреждению последствий наводнения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Сооружение водосточных каналов. – Сооружение дамб.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p><i>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – компоновка рабочей зоны. – режимы труда и отдыха

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Кырмакова О.С			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
151A20	Ван Бо		